

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-040154

(43)Date of publication of application : 06.02.2002

(51)Int.Cl.

G01V 3/11

(21)Application number : 2001-170715

(71)Applicant : HOWELL MARK I

(22)Date of filing : 06.06.2001

(72)Inventor : HOWELL MARK I

(30)Priority

Priority number : 2000 200013620

Priority date : 06.06.2000

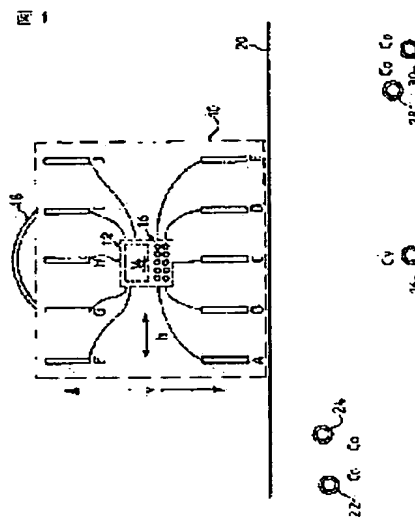
Priority country : GB

(54) METHOD AND APPARATUS FOR USE IN LOCATION OF CONDUCTOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To realize a method and an apparatus for use in the location of elongated conductors, particularly of embedded conductors.

SOLUTION: Embedded elongated conductors (e.g. pipes and cables) are located, using an antenna assembly of ten vertical coils (A-J) in two identical rows (A-E and F-J), arranged one above the other. Currents, induced in the coils by alternating currents in the embedded conductors, are fed to signal- processing circuit (12). This apparatus calculates parameters whose values can be reliably indicated when a conductor is located vertically beneath the antenna, and can indicate its depth.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2002-40154
(P2002-40154A)

(43) 公開日 平成14年2月6日 (2002.2.6)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード(参考)
G 0 1 V 3/11		G 0 1 V 3/11	A

審査請求 未請求 請求項の数14 O L 外国語出願 (全 26 頁)

(21) 出願番号	特願2001-170715(P2001-170715)	(71) 出願人	501226549 マーク イアン ハウエル イギリス国, ビーエス 8 4エルジェー, ブリストル, ウィンザー コート 23
(22) 出願日	平成13年6月6日(2001.6.6)	(72) 発明者	マーク イアン ハウエル イギリス国, ビーエス 8 4エルジェー, ブリストル, ウィンザー コート 23
(31) 優先権主張番号	0 0 1 3 6 2 0 : 0	(74) 代理人	100077517 弁理士 石田 敬 (外4名)
(32) 優先日	平成12年6月6日(2000.6.6)		
(33) 優先権主張国	イギリス (GB)		

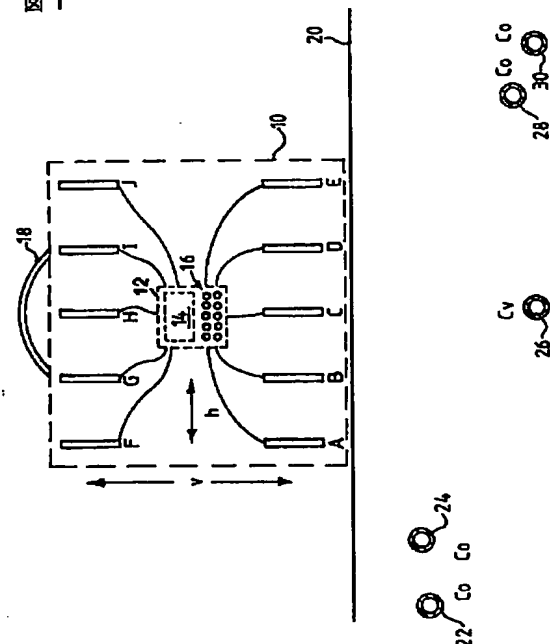
(54) 【発明の名称】 導体の位置探査に用いられる方法と装置

(57) 【要約】

【課題】 特に、埋設された細長の導体の位置を探査するために使用される装置及び方法を実現する。

【解決手段】 一方が他方の上に配置された2つの同等な列(A~E及びF~J)に並べられた、10個の垂直なコイル(A~J)のアンテナアセンブリを用いて、埋められた細長の導体(例えば、パイプやケーブル)の位置が探査される。埋められた導体の交流電流により上記コイルに誘起される電流は、信号処理回路(12)に供給される。この装置は、ある導体があるアンテナの垂直方向の下にある場合その値を確実に表示することができ、かつその深さを表示できるパラメータを計算する。

図 1



【特許請求の範囲】

【請求項1】 支持構造(10)と、該支持構造に水平な列にして取付けられた5個の実質的に同じコイル(A、B、C、D、E)のアレイとを具備するアンテナであって、各々の前記コイルが直線の軸を有し、該コイルの軸が垂直でかつ同一平面上に等しい直線距離間隔で配置されているアンテナを含む、水平に延びた細長の導体の位置探査に用いられる装置。

【請求項2】 前記アレイの前記5個のコイル(A～E)は、該コイルに誘起される信号電流が信号処理ユニット(12)に同時に、該ユニットによる処理のために入力されることが出来るように前記信号処理ユニットに接続されている請求項1に記載の装置。

【請求項3】 交流電流が流れている前記細長の導体の直上を前記アンテナが通過するときに値がゼロである第1の表示パラメータを決定するために、前記信号処理ユニット(12)が前記の5つの入力信号電流の瞬時値の計算を実行できるように適合されている請求項2に記載の装置。

【請求項4】 前記コイルA、B、C、DおよびEの前記信号電流がA、B、C、DおよびEと表記されるとき、前記信号処理ユニット(12)が $[(2C - A - E) / 4(2C - B - D)] - 1 = P$ 、あるいは、 $(2C - A - E) - 4(2C - B - D) = P$ の値を計算する請求項3に記載の装置。

【請求項5】 前記アンテナが、交流電流が流れている前記細長の導体の直上にあるときに値が最大であり、かつ、前記アンテナが前記導体のどちらかの側に移動するときにゼロを通過する、第2の表示パラメータQを決定するために、前記信号処理ユニット(12)が前記入力信号電流の瞬時値の計算を実行できるようにも適合されている請求項3または4に記載の装置。

【請求項6】 前記第2の表示パラメータQは、式 $Q = A - E + 2(D - B)$

から計算される請求項5に記載の装置。

【請求項7】 前記5個のコイル(A～E)のアレイが、第1の位置から該第1の位置より所定の距離だけ垂直方向に上にある第2の位置に移動させることができるように、前記支持構造(10)が適合されている請求項1～6のいずれか1項に記載の装置。

【請求項8】 前記アレイの前記5個のコイル(A～E)は、該コイルに誘起される信号電流が前記信号処理ユニット(12)に同時に、該信号処理ユニットによる処理のために入力されることが出来るように前記信号処理ユニットに接続されており、かつ該信号処理ユニットが、前記第1と第2の位置で受取った信号電流を比較して導体の深さを表示する値を決定するように適合されている請求項7に記載の装置。

【請求項9】 前記アレイ(A～E)が前記第1および第2の位置にある時に、前記第2の表示パラメータQの

それぞれの値 Q_1 および Q_2 を計算して、式

$$D = 2Q_2 / (Q_1 - Q_2)$$

から深さのパラメータDを計算するように、前記信号処理ユニット(12)が適合されている請求項6に従属する請求項8に記載の装置。

【請求項10】 前記第1のアレイ(A～E)と同等で該第1のアレイの上に垂直に隔てられた第2の5個のコイル(F、G、H、I、J)のアレイを含む請求項1～9のいずれか1項に記載の装置。

【請求項11】 前記信号処理ユニット(12)は、前記第2のアレイ(F～J)のコイルに誘起される信号電流F、G、H、I、Jを受取り、式

$$Q' = F - J + 2(I - G)$$

から第3の表示パラメータQ'を計算し、かつ式

$$D = 2Q' / (Q - Q')$$

から深さのパラメータDを計算するように適合されている請求項6に従属する請求項10に記載の装置。

【請求項12】 前記5個のコイルのアレイまたは該アレイの各々が4組の縦のコイル(A、B1；B2、C1；C2、D1；D2、E)によって置き換えられ、該各組のコイルが該組の2個のコイルに誘起される電流の差を表す出力信号を提供するように逆相に接続され、該各組のコイルが水平に隔てられた状態で該組が水平の列に配置され、かつ、各組(A、B1)が該隣りの組(B2、C1)の1つのコイル(B2)に隣接するコイル(B1)を有する、請求項1～11のいずれか1項に記載の装置。

【請求項13】 支持構造(10)と、該支持構造に水平な列にして取付けられた5個の実質的に同等なコイル(A、B、C、D、E)のアレイとを具備するアンテナであって、各々の前記コイルが直線の軸を有し、該コイルの軸が垂直でかつ同一平面上にあり、かつ等しい直線距離間隔であるように前記コイルが配置されているアンテナを備えることと、該アンテナを導体上を横断させることと、該アンテナのコイルに誘起された信号を検出することと、前記導体の位置を表すデータを提供するために該信号を処理することと、を含む、水平に延びた細長の導体の位置探査のための方法。

【請求項14】 請求項1～12のいずれか1項に記載の装置を用いた請求項13に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は細長の導体(elongate conductor)の位置探査(location)に用いられる方法と装置に関し、特に例えばパイプ、ケーブルまたはその他の公共設備のような、埋められた導体の位置探査に用いられる方法と装置に関する。

【0002】

【従来の技術と発明が解決しようとする課題】現在市販されている計器は、一つまたはそれ以上の「サーチ」コ

イルに誘起される電流を測定することにより、交流電流が流れている埋められた細長の導体に起因する交流磁場を測定することが出来る。計器を特定の配置にすることによって、極大またはゼロの磁界及び誘起電流が、導体が直下にあることを指示する。しかしながら、現在市販されている計器は、いくつかの異種の導体から合成された結果の磁界 (field) 内では、個々の導体を区別することが出来ない。その搜索物に近接して他の導体が存在する場所では、それらの電流は結果を誤らせかねない合成磁界 (combined field) を生じさせて導体の位置に関して誤った推論へ導くことになる。実際に極めてしばしば、地下設備や一般の現場の安全性が、そのような不正確な検出により脅かされている。

【0003】

【課題を解決するための手段】本発明は、その軸が垂直であるコイルが、離れた (典型的には埋められた) 長い導体の直ぐ上に存在する場合に、その導体を流れる交流電流から受ける誘起電流はゼロであるという事実を用いるものである。これは、導体中の電流の大きさやそれとコイルとの間の距離に無関係である。電気式秤装置 (balance device) の方法に用いるように提案されているのは、この現象である。導体の両側ではコイルに誘起される電流は、左側に対してマイナスであれば右側に対してはプラス、またはその逆というように、位相が逆ではあるが、等しく増加する。

【0004】垂直軸のコイルにより受け取られる誘起電流は、2つの因子の積である。まず第1に、それはコイルと導体の間の距離 (コイルの中心から測定した) の逆数に従って変化する。第2に、それは、コイルの軸を (コイルの中心で) 導体の上方の垂直方向の最近接点と結ぶ水平線と、コイルの軸を (コイルの中心で) 導体の軸へ結ぶ線であってその導体の軸と垂直な線との間の角度のコサイン (cosine) で変化する。従って、第2の因子および上記の2つの因子の積は、コイルが導体の上方にあるところではゼロとなる。

【0005】本発明の第1の態様に従えば、支持構造と、水平な列になるようにそれに取付けられた5個の実質的に同等なコイルのアレイとで構成されたアンテナからなり、上記の各々のコイルが直線軸 (linear axis) を有し、それらの軸が垂直でかつ同一平面上にあり、等しい直線距離間隔を有するように配置されている、水平に伸びた細長の導体の位置探査に用いられる装置が提供される。

【0006】上記のアレイの5個のコイルは一般に1つの信号処理ユニットに接続され、それらのコイルに誘起される信号電流がそのユニットに同時に入力されて、それにより処理されるようにされる。

【0007】本発明のいくつかの実施例を添付の図面に関連する例として詳細に以下に説明する。

【0008】

【発明の実施の形態】図1は本発明を具体化した装置を示す。

【0009】本発明の装置は、垂直で同一面内にある軸を有して支持構造体10に取付けられた、10個の同じコイルA~Jからなるアンテナアレイを有する。コイルは、同一の間隔 (h) (この例では10cm) で一列に配置された5個のコイルA~Eの第1の水平アレイと、この第1のアレイの上に間隔V (この例では25cm) で垂直に隔てられた5個のコイルF~Jの第2の水平のアレイ内にあり、第2の上側のアレイの各々のコイルは第1の下側のアレイの各コイルの直上にある。各々のコイルは、ディスプレイ14と制御ボタン16を有する信号処理ユニット12に接続されている。この装置は、例えば持ち運びハンドル18により地面を横切らせることができるようになっていて、図1は、地表面20とその下に埋められた5個の延伸された導体22, 24, 26, 28, 30を示している。

【0010】1つの導体26は、中央のコイルC、Hの直下にある。

【0011】2つの導体22, 24は左に外れており、2つの導体28, 30は右に外れている。

【0012】図1の導体26のようにアンテナアレイの中心の直下に位置する導体を、以下では「Cv」と称する。その中心の垂直な下にはないが、Cv位置での合計磁界 (total field) に影響を与える程度に十分に近接している他の導体はいずれも、以下では「Co」と称する。

【0013】第1のアレイのコイルへの、導体の影響を考察する。中央のコイルCの左に隔たったコイルBには、合算されたCo源 (combined Co source) による信号成分と、それプラスまたはマイナスの、Cvが上記の特定の位置に1個あるとすればそのCvによる成分の信号とがあり、また、Cから右側に等しく隔たったコイルDでは、コイルBではCvによる成分が全体の磁界 (general field) から差し引かれたとすると、この場合はそれに足し合わされることを別にすれば、同様である。

【0014】このように、アレイの中心が1つの導体の上にあるコイルCの左右の信号の大きさには不等性 (inequality) がある。1つ以上の導体が近傍に存在する場合、それらの磁界は左右からCvの磁界に合計され、Cv位置ではそれらは中央のコイルが検出する唯一の磁界となる。アレイ位置自身ではコイルCの左の導体によるこれらの磁界はその右に位置するそれらとは反対になる結果、アンテナの位置では、特に導体群の中心に向かって一般的に全体レベルが低いレベルの磁界強度になる。しかしながらCvの存在で、アレイの左から右への強度にはかなりの差異が現れる。

【0015】BおよびDから等しい距離で、Cからも等しい距離にある、アレイに付加された第4および第5のコイル (コイルAおよびE) が、Cvの存在に起因して

生ずる、アレイ全体にわたっての磁界の強度の不等性の定量化、即ちそれがコイルDおよびEで全体の磁界に付加された場合、コイルBおよびAでその全体の磁界から差し引くこと、を可能にする特別な機能を果たす。

【0016】コサイン (cosine) の小さい値 (導体の最近接点とコイルとを結ぶ線と水平線との間の角度が大きい) では、C v の磁界強度の距離の逆比例成分 (reciprocal-distance component) は中央コイルからのコイルの距離が変わっても殆ど変化しないが、C v 位置での中央と外側のコイルの間の距離が2倍になるとこのコサイン成分はほぼ正確に2倍になるので、アレイがC v の真上を通過するときアレイの内側のコイルと外側のコイルで受取られる信号の大きさの関係が「ゼロクロス」応答 ("zero-crossing" response) を与える信号を得る実際的な方法を提供する。これが、パラメータPが、 $P = [(2C - A - E) / 4(2C - B - D)] - 1 = 0$ (ここでC、A等はコイルC、A等に誘起される信号電流を表す) : (式1)、すなわち、

$$(2C - A - E) - 4(2C - B - D) = 0$$

であればコイルの信号が、アレイがC v の真上である状態に非常に近接しているに違いないような信号になる理由である。磁界のC v 成分は、式1において、左から右へアレイを横切るときそのフェーズ (phase) が変るためにきわだったものになるが、より離れた発生源に起因するもので、C v に由来しない残りの磁界のその部分は全て同相であり、アンテナの中央位置を横切るときの突然の変化を生じさせないことに注目すべきである。図3は、図の下側に示された8個の導体が埋められた道路をアンテナが横切ったときの、P (式1) の変化を示している。これら全てのグラフにおいて、右側に示した目盛りは導体の深さに関するものである。左側に示した目盛りは、任意の相対単位 (arbitrary unit) である。1

(unity) は、コイルのうちの1つが単位電流 (unit current) が流れている長い導体に対して垂直に、かつ水平には1 m上方に置かれた場合にそのコイルに誘起されるであろう電流を表している。図5は、議論しているアンテナ中央が2.8 m横断した時の式1のAからEの成分の値を示す。「位置」はP (式1) の値で、「ピーク」はQ (式2; 後述) の値である。

【0017】いくつかの疑似ゼロクロスが、与えられた例では0.56 m、1.16 m、2.3 m、3.22 m、4.81 mおよび5.46 mの横断位置で発生している。これは、アンテナ内の瞬間的な「バランス」点が導体群の間において発生することによる。これらは、以下において議論される方法で取り除くことが出来る。他のゼロクロスは導体の位置を高精度で同定しており、同様に以下で詳細に議論される。例外は導体番号5および6 (図3の左から数えた番号) であり、それらは深さ1.1 mおよび1.2 mに僅かに0.4 mだけ離れて存在し、それら自身の間のほぼ中間でゼロクロスを生じさ

せており、それによりこの導体対の各々について+/-0.2 mの位置精度を達成している。導体番号6の電流の大きさを半分だけ減少させることは、その導体対について表示されている位置が導体5の方向に僅か4.9 mmシフトさせるだけであり、またその導体対の表示深さが単に1.16 mから0.99 mに変化するだけという結果になる、ということをごここに記載しておく。これは、信号電流の大きさと導体の深さの変化にตอบสนองすることに関しての、本技術の少なからぬ安定性を強調している。図3の調査では、どの導体も位置の探索結果により「位置」表示に基づく通常の巾の溝での発見から漏れることはなかった。

(「ピーク」プロファイル) 上述の位置のゼロクロス表示の式は、その間の信号のピーキング (signal peaking between) で導体の位置の両側でゼロクロスを生じさせるように変形することができ、次のようになる (図4参照) :

$$[(A - E) + 2(D - B)] = Q \quad (\text{式2})$$

これはまた、 $Q = A - E - 2(B - D)$ と書くことができる。

【0018】この式は、二つの重要な用途を有している。すなわち、第1に、疑似位置表示が生ずるところでは、この信号の極性は通常負であって、正しい応答に対しては正である。従って、誤った位置のゼロクロス表示は無視されるようにすることができる。(コイルAからEの誘起電流の真実の符号は、必要であればコイルCの位相を、水平軸を有し導体軸に垂直な面内にあり、コイルCの軸が上、下または同軸方向でそれと交差するように隔てられたコイルと比較することにより、決定することが出来る。)

(導体の深さ) 第2に、「位置」応答で表された導体の深さは、第1の5個のコイルのセットの上方の短い距離に配置された、第2の5個のコイルのセットF、G、H、I、Jを用いることにより、通常精度良く概算することができる。

【0019】もし $Q = A - E + 2(D - B)$ で、かつ $Q' = F - J + 2(I - G)$ であれば、このとき、 $2Q' / (Q - Q') =$ 任意位置での深さとなる。

【0020】アンテナコイルの第2のセットを用いる代案として、手動または機器の内部の簡単なトラック (track) 40 (図2参照) 上の電気的手段によりコイルAからEを持ち上げるように配置するか、またはゼロクロス点の「位置」の上で手動で機器の高さを高くして第1および第2の読みを測定し、2つの測定値を深さの計算のために記憶しておいてもよい。

(実配線の逆位相のアレイ) 以上に説明した5個のコイルAからEの代案は、各々の組が逆の位相に配線され、図6の平面図に示されたように配置された4組のコイルに置きかえることに見いだしてもよい。4つの信号が既に議論された上記の式の(A - B)、(B - C) および

(C-D)および(D-E)に匹敵する。一つの利点は、入力電圧の変動が緩和され、必要な計算の数が減らされることであり、また受信機とプロセッサへの入力が入力が5から4に低減される。さらなる4つの入力セットが、深さのデータを提供することが出来る。

(反復計算によるノイズ低減) 信号の1つのサイクルで、ここに述べた計算を実行するために必要な電圧測定には理論上十分であるが、信号と回路におけるノイズを低減するために、それらを多くのサイクルにわたって、例えば数千サイクルも繰り返して再実行する場合がある。

(無線や信号発生源を可能にする逆相コイル対) この技術は全ての動作モードで有用な逆相のコイル対 (oppose d-phase coil pair) を必要とするので、埋められた公共設備を探索するために、周囲にある無線エネルギーまたは専用の信号発生源のどちらかを使用することが可能である。

(埋められた公共設備の探索に適した周波数帯域) 異なる種類の公共設備に対して作業する場合に、計器 (instrument) が最大の能力を発揮することが出来るようにするために、現存の装置が切換可能な周波数帯域を用いることができるようにしてもよい。この新しい技術はまた、例えば50Hzより下から2MHzを越えるまでの*

* 探索周波数を使用するのが有利になりうるかも知れない。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の一実施例の使用状態を示す概略図である。

【図2】 第2の実施例を示す小規模の同様の図である。

【図3】 下部に示す埋められた導体のパターンを有する街路を本装置が横切った時の、表示パラメータPの変動を示すグラフを示す図である。

10 【図4】 第2の表示パラメータQの変動を示す同様のグラフを示す図である。

【図5】 個々のコイルの信号の強さとその他の重要な変数の値を示す図である。

【図6】 代替のコイルアレイを平面図で示す図である。

【符号の説明】

10…支持構造

12…信号処理ユニット

14…ディスプレイ

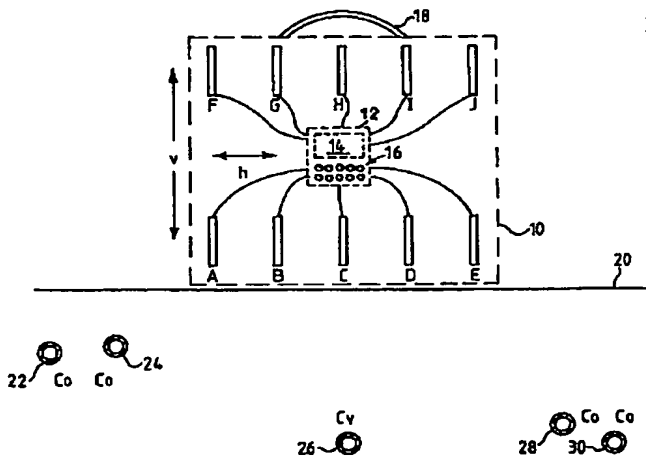
16…制御ボタン

20 18…ハンドル

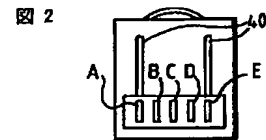
22、24、26、28、30…導体

A~J…コイル

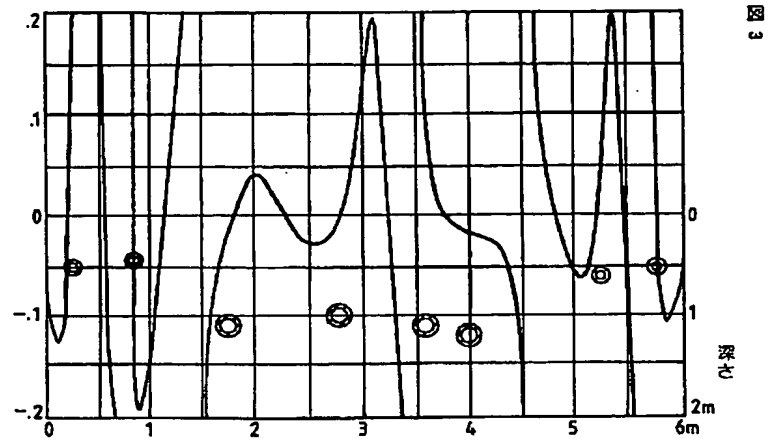
【図1】



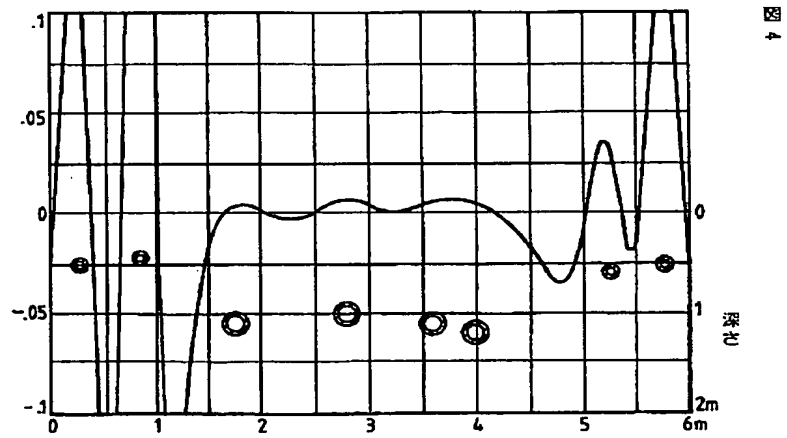
【図2】



【図3】



【図4】



【図5】

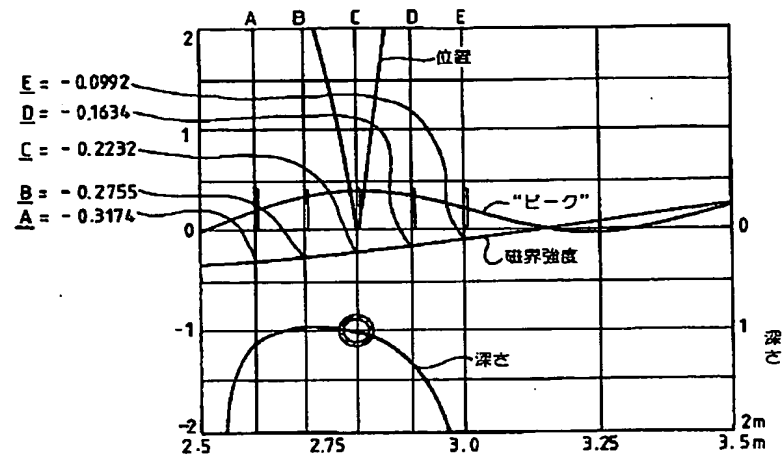


図5

【図6】

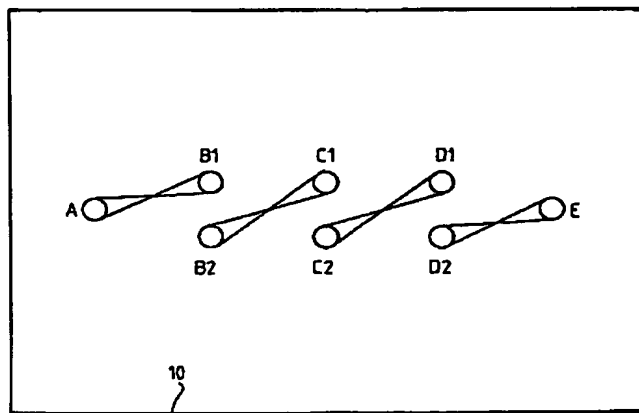


図6

【外国語明細書】

1. Title of Invention

METHOD AND APPARATUS FOR USE IN LOCATION OF CONDUCTORS

2. Detailed Description of Invention

The present application concerns a method and apparatus for use in the location of elongate conductors, particularly buried conductors, e.g. pipes, cables or other utilities. Instruments currently being marketed can measure the alternating magnetic field due to a buried long conductor that carries alternating current, by measuring currents induced in one or more "search" coils. Depending on the particular instrumental arrangement, maximum or null magnetic field and induced current should indicate that a conductor is directly beneath. However the instruments are unable to distinguish individual conductors, within a combined field resulting from several disparate conductors. Where other conductors lie close to that sought, their currents create a combined field that can give misleading results and lead to false deductions as to conductors' positions. In practice, quite frequently, underground plant or general site safety is imperilled by such inaccurate findings.

The present invention makes use of the fact that if a coil whose axis is vertical is situated directly over a remote (typically buried) long conductor, it will receive zero induced current from an alternating electric current flowing in that conductor. This is regardless of the current strength in the conductor or the distance between it and the coil. It is this phenomenon that it is proposed be used in the manner of an electrical balance device. On either side of the conductor the induced current in a coil increases equally, but in opposed phase, positively to the right, if negatively to the left, and vice-versa.

The induced current received by a coil of vertical axis is the product of two influences. Firstly, it varies according to the inverse of the distance between the coil and the conductor (measured from the centre of the coil). Secondly, it varies as the cosine of the angle between a horizontal line joining the coil axis (at the coil's centre) to the nearest point vertically above the conductor, and a line joining the coil axis (at the coil's centre) to the conductor axis, perpendicular to the conductor axis. Thus the second factor, and the product of the two factors, are zero where the coil is above the conductor.

According to the invention in a first aspect there is provided an apparatus for use in the location of elongate horizontally extending conductors comprising an antenna comprising a support structure and an array of five substantially identical coils mounted thereto, in a horizontal row, each coil having a linear axis, the coils being arranged so that their axes are vertical and coplanar and with equal linear spacings. Generally the five coils of said array are connected to a signal processing unit so that signal currents induced in the coils can be input to said unit simultaneously for processing thereby.

3. Brief Description of Drawings

Some embodiments of the invention will now be described in greater detail by way of example with reference to the accompanying drawings in which:

Fig. 1 is a schematic view showing an embodiment of the invention in use;

Fig. 2 is a like view on a smaller scale showing a second embodiment;

Fig. 3 is a graph showing the variation of an indicator parameter P as the apparatus is traversed

across a street having the pattern of buried conductors shown in the lower part.

Fig. 4 is a similar graph showing variation of a second indicator parameter Q;

Fig. 5 shows the values of signal strengths of individual coils and other significant variables; and

Fig. 6 shows an alternative coil array in plan view.

Fig. 1 shows an apparatus embodying the invention.

It has an antenna array composed of ten identical coils A-J mounted to a support structure 10 with their axes vertical and in the same plane. The coils are in a first horizontal array of five coils A-E in line with equal spacings (h) (in this example 10cm) and a second horizontal array of five coils F-J vertically spaced above the first array with a spacing V (in this example 25cm), each coil of the second, upper array being directly above a coil of the first, lower array. Each coil is connected to a signal processing unit 12 having a display 14 and control buttons 16. The apparatus is adapted to be traversed across the ground, e.g. by means of a carrying handle 18. Fig. 1 shows the ground surface 20 and, beneath it, five buried elongate conductors 22, 24, 26, 28, 30.

One conductor 26 is directly beneath the central coils C, H.

Two conductors 22, 24 are off to the left and two conductors 28, 30 are off to the right.

A conductor situated directly below the centre of the antenna array, such as conductor 26 in Fig. 1, will be referred to as a "Cv". Any other conductor not vertically below the centre but close enough to influence the total field at the Cv position is referred to as a "Co".

Consider the effects of the conductors on the coils of the first array. At coil B, spaced to the left of central coil C, there will be a signal component due to the combined Co sources, plus or minus a component due to the Cv if there is one at that particular location; and likewise at coil D spaced equally right of C; except that the Cv component there will be adding to the general field, if it is subtracting from it at coil B.

Thus there will be inequality in the amplitudes of the signals left and right of coil C, where the array is centred over a conductor. Where more than one conductor exists nearby, their fields will sum with that of the Cv, from left and right, and at the Cv position theirs will be the only fields that the centre coil will detect. Those fields due to conductors to the left of C will oppose those situated to its right, at the array position itself, leading to a generally low overall level of field intensity at the antenna position, particularly towards the centre of the conductor group. With a Cv present, however, there will exist an appreciable difference in intensity from left to right of the array.

Fourth and fifth coils (coils A and E) added to the array at equal distances from B and D, to theirs from C, perform a special function that makes possible the quantification of the inequality of the field intensity across the array resulting from the existence of a Cv: that is, subtracting from the general field at coils B and A if it is adding to it at coils D and E.

Since the reciprocal-distance component of the Cv field strength remains almost unchanged with a coil's distance from the centre coil at small cosine values (large angles between the horizontal and the line joining the coil to the conductor's closest point), but the

cosine component almost exactly doubles with doubling of the distance between central and outer coils at the Cv position, the relationship of the signal magnitudes received at the inner and outer coils of the array offers a practicable method of obtaining a signal giving a "zero-crossing" response as the array passes overhead the Cv. This is because the coils' signals are such that if the parameter

$$P = [(2C - A - E) / 4(2C - B - D)] - 1 = 0 \text{ (where } C, A \text{ etc represent the signal currents induced in coils } C, A \text{ etc);}$$

(Equation 1); and also:

$$(2C - A - E) - 4(2C - B - D) = 0$$

the array must be very close to being directly overhead a Cv. It may be noted that although the Cv components of the field are made prominent by reason of their change of phase from left to right across the array in equation 1, those parts of the residual field resulting from the more distant sources and not originating at the Cv are all in-phase, and will cause no sudden contrast across the centre position of the antenna. Fig. 3 shows the variation in P (Equation 1) as the antenna is traversed across the street with the eight conductors shown in the lower part of the figure. In all these graphs, the scale at the right relates to the depth of the conductors. The scale at the left is in arbitrary units. Unity represents the current that would be induced in one of the coils if placed horizontally 1m above and perpendicular to a long conductor carrying unit current. Fig. 5 shows the values of the constituents of equation 1, A to E, with the antenna central at 2.8m of the traverse under discussion. "Position" is the value of P

(formula 1). 'PEAK' is the value of Q (formula 2; below).

Some spurious cases of zero-crossing occur in the examples given, at 0.56, 1.16, 2.3, 3.22, 4.81, and 5.46 metres of the traverse. This is because momentary points of "balance" in the antenna occur between groups of conductors. These may be eliminated by means discussed below. The other zero-crossings identify conductor positions with high accuracy, also to be discussed in detail below. The exceptions are conductors numbers five and six (counting from the left of Fig. 3) which, spaced only 0.4 metres apart, and at depths of 1.1 and 1.2 metres, cause a zero-crossing to occur nearly mid-way between themselves, thereby achieving a positional accuracy of about $\pm 0.2\text{m}$ of each of the pair. It is noted here that reducing the current amplitude of conductor number six by one-half results in a shift of the position indicated for the pair of only 49mm towards conductor five, and a change in the indicated depth of the pair merely from 1.16m to 0.99m. This emphasises the considerable stability of the technique in responding to variations of signal current strength and conductor depth. In the survey of Fig. 3, the position results would have allowed no conductor to have escaped discovery in a trench of ordinary width based on a "Position" indication.

THE "PEAK" PROFILE

The equation for the zero-crossing indication of position described above may be modified to cause a zero-crossing to occur on either side of a conductor's position, with the signal peaking between, thus (Fig. 4):

$$[(A-E) + 2(D-B)] = Q$$

This can also be written: $Q = \underline{A-E} - 2(\underline{B-D})$.

This equation has two significant applications:

first, where a spurious positional indication occurs the polarity of this signal is usually negative, and is positive for a correct response. Thus the false zero-crossing indications of position may be discounted. (The true signs of the induced currents of coils A to E may be determined, if necessary, by comparing the phase of coil C with a coil of horizontal axis, and normal in plan to the conductor axis, spaced such that the axis of coil C intersects it; above, below or coaxially.)

DEPTH OF CONDUCTORS

Secondly, the depth of conductors as indicated at the "position" response may usually be estimated with good accuracy by employing a second set of five coils F, G, H, I, J placed above the first at a small distance.

If $Q = A-E + 2(D-B)$ and

$$Q' = F-J + 2(I-G)$$

then $2Q'/(Q-Q') = \text{DEPTH at any POSITION}$

An alternative to a second set of antenna coils might be to arrange coils A to E to be raised by manual or electrical means on a simple track 40 (Fig. 2) inside the instrument, or possibly to take first and second readings with the height of the instrument raised above the "position" zero-crossing point manually, and the two readings stored for depth computation.

A HARD-WIRED OPPOSED-PHASE ARRAY

An alternative to the five coils A to E discussed above may be found in substituting four pairs of coils, each pair wired in opposed-phase and laid out as shown in plan in Fig. 6. The four signals would equate to (A-B), (B-C), and (C-D) and (D-E) already discussed in the equations above. One advantage would be that the input voltage variations would be moderated and the number of calculations necessary reduced; also the inputs to the receiver and processor would be reduced from five to four. A further set of four inputs could provide the depth data.

NOISE REDUCTION BY REPETITIVE CALCULATION

A single cycle of signal is in theory sufficient to measure the voltages needed to perform the calculations described here, but the opportunity exists to re-perform them over many cycles, even thousands of cycles, in order to reduce noise in signals and circuitry.

OPPOSED-PHASE PAIRS ENABLE RADIO OR SIGNAL GENERATOR SOURCES

Because the technique requires opposed-phase coil pairs to be used in all modes of operation, it is able to use either ambient radio energy or a dedicated signal-generator source to search for buried utilities.

FREQUENCY RANGES SUITABLE FOR SEARCHING FOR BURIED UTILITIES

Existing equipments may use switchable frequency bands to enable an instrument to achieve maximum performance when working with different kinds of utilities. This new technique might also be able to

benefit from using search frequencies from perhaps below
50Hz to exceeding 2MHz.

4. Claims

1. Apparatus for use in the location of elongate horizontally extending conductors comprising an antenna comprising a support structure (10) and an array of five substantially identical coils (A, B, C, D, E) mounted thereto, in a horizontal row, each coil having a linear axis, the coils being arranged so that their axes are vertical and coplanar and with equal linear spacings.

2. Apparatus according to claim 1 wherein the five coils (A-E) of said array are connected to a signal processing unit (12) so that signal currents induced in the coils can be input to said unit simultaneously for processing thereby.

3. Apparatus according to claim 2 wherein the signal processing unit (12) is adapted to perform a calculation with the instantaneous values of the five input signal currents to determine a first indicator parameter whose value is zero when the antenna is directly over an elongate conductor carrying an alternating current.

4. Apparatus according to claim 3 wherein if the signal currents of the coils A, B, C, D and E are termed A, B, C, D and E, then the signal processing unit (12) calculates the value of:

$$\begin{aligned} & [(2\underline{C}-\underline{A}-\underline{E}) / (4 (\underline{2C}-\underline{B}-\underline{D}))]-1 = P \quad \text{or} \\ & (2\underline{C}-\underline{A}-\underline{E}) - 4 (\underline{2C}-\underline{B}-\underline{D}) = P \end{aligned}$$

5. Apparatus according to claim 3 or claim 4 wherein the signal processing unit (12) is also adapted to perform a calculation with the instantaneous values of the input signal currents to determine a second indicator parameter Q whose value is at a maximum when the antenna

is directly over an elongate conductor carrying an alternating current, and passes through zero if the antenna is moved to either side of the conductor.

6. Apparatus according to claim 5 wherein said second indicator parameter Q is calculated from the formula:

$$Q = \underline{A-E} + 2 (\underline{D-B})$$

7. Apparatus according to any preceding claim wherein the support structure (10) is adapted to permit the array of five coils (A-E) to be moved from a first position to a second position a predetermined distance vertically above the first position.

8. Apparatus according to claim 7 wherein the five coils (A-E) of said array are connected to a signal processing unit (12) so that signal currents induced in the coils can be input to said unit simultaneously for processing thereby and wherein the signal processing unit is adapted to compare signal currents received in said first and second positions and to determine a value indicative of the depth of a conductor.

9. Apparatus according to claim 8 as appendant on claim 6 wherein the signal processing unit (12) is adapted to calculate the respective values Q_1 and Q_2 of the second indicator parameter Q when the array (A-E) is in said first and second positions and to calculate a depth parameter D from the formula:

$$D = 2Q_2 / (Q_1 - Q_2)$$

10. Apparatus according to any preceding claim including a second array of five coils (F, G, H, I, J) identical to the first array (A-E) and vertically spaced above it.

11. Apparatus according to claim 10 as appendant on claim 6 wherein the signal processing unit (12) is adapted to receive signal currents \underline{F} , \underline{G} , \underline{H} , \underline{I} , \underline{J} induced in the coils of the second array (F-J), calculate a third indicator parameter Q' from the formula:

$$Q' = \underline{F} - \underline{J} + 2 (\underline{I} - \underline{G}),$$

and calculate a depth parameter D from the formula:

$$D = 2Q' / (Q - Q')$$

12. A modification of the apparatus of any preceding claim wherein the or each array of five coils is replaced by four pairs of vertical coils (A,B1; B2,C1; C2,D1; D2,E), the coils of each pair being connected in opposite phase so as to provide an output signal indicative of the difference in the currents induced in the two coils of the pair; the pairs being arranged in a horizontal row, with the coils of each pair being horizontally spaced, and each pair (A,B1) having a coil (B1) which is adjacent a coil (B2) of the neighbouring pair (B2,C1).

13. A method for the location of elongate horizontally extending conductors comprising providing an antenna comprising a support structure (10) and an array of five identical coils (A, B, C, D, E) mounted thereto, in a horizontal row, each coil having a linear axis, the coils being arranged so that their axes are vertical and coplanar and with equal linear spacings, traversing the antenna over the conductors, detecting signals induced in the antenna coils, and processing the signals (12) to provide data indicative of conductor location.

14. A method according to claim 13 which employs apparatus according to any of claims 1 - 12.

(21)

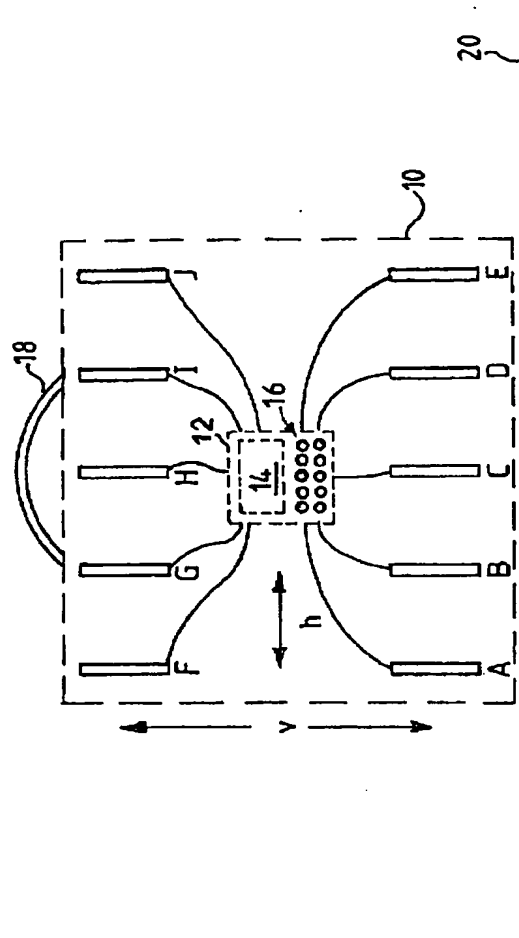


Fig 1

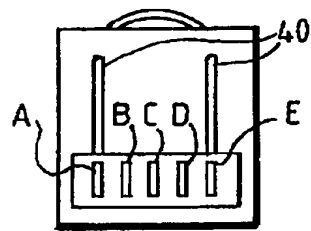


Fig 2

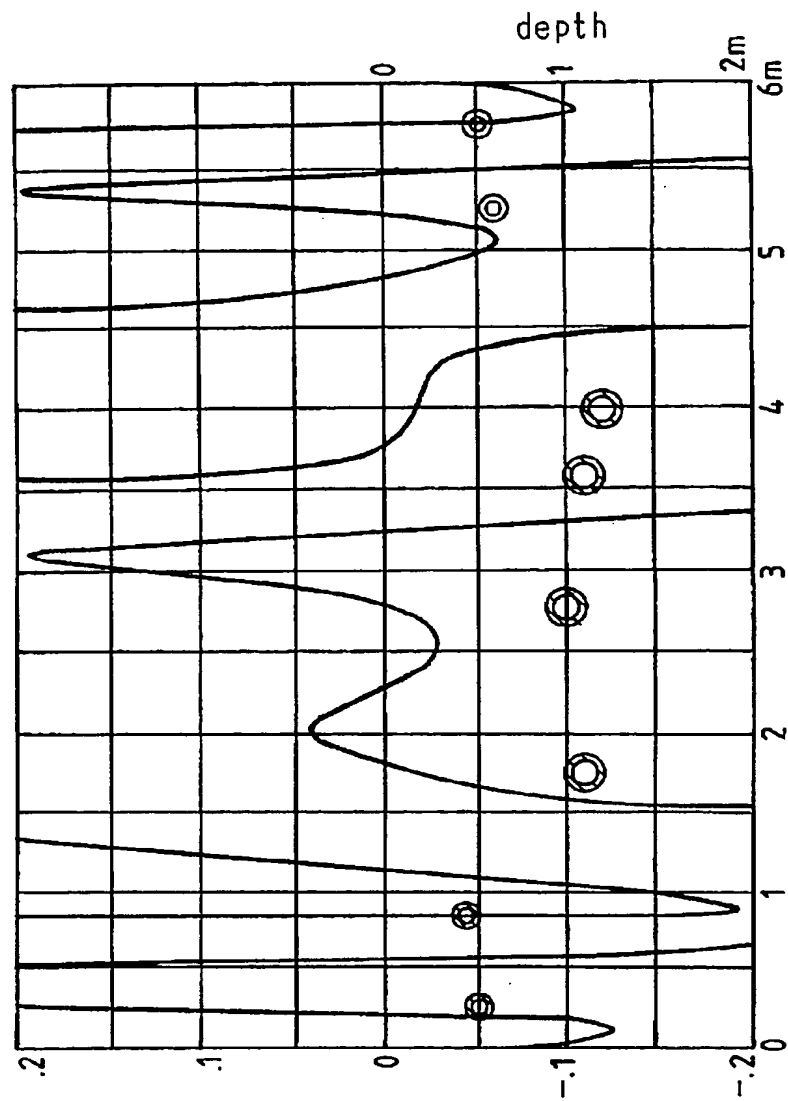


Fig 3

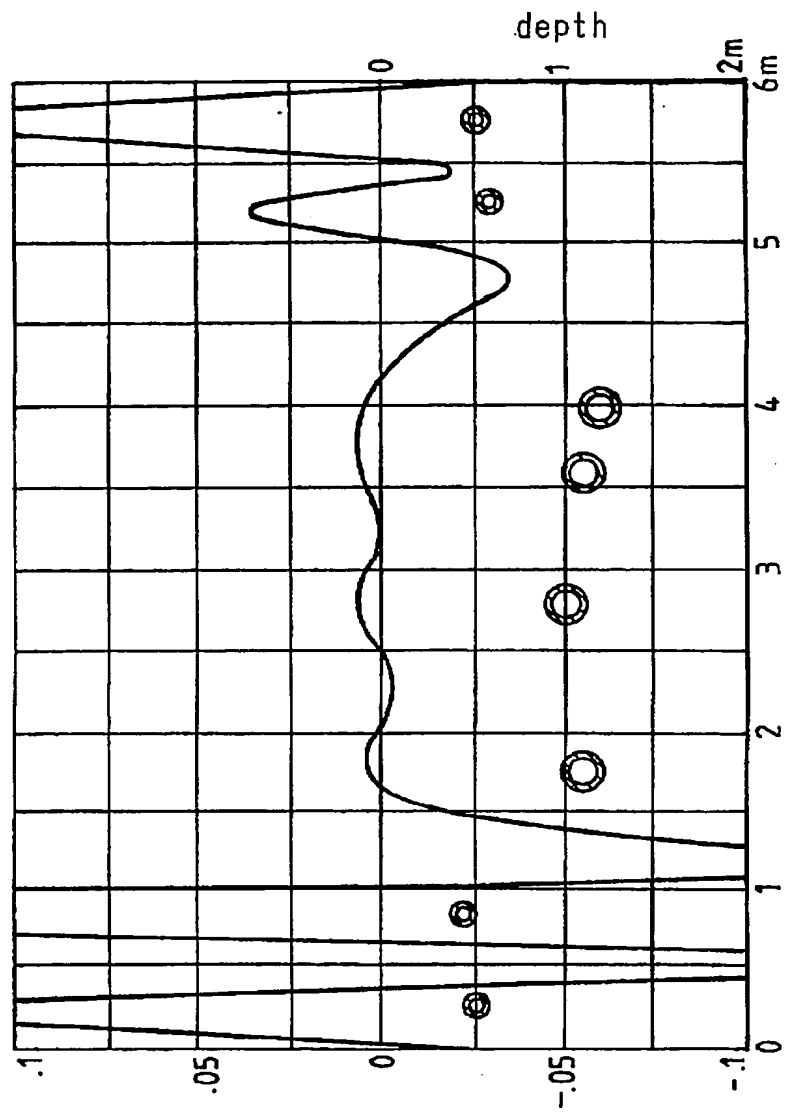


Fig 4

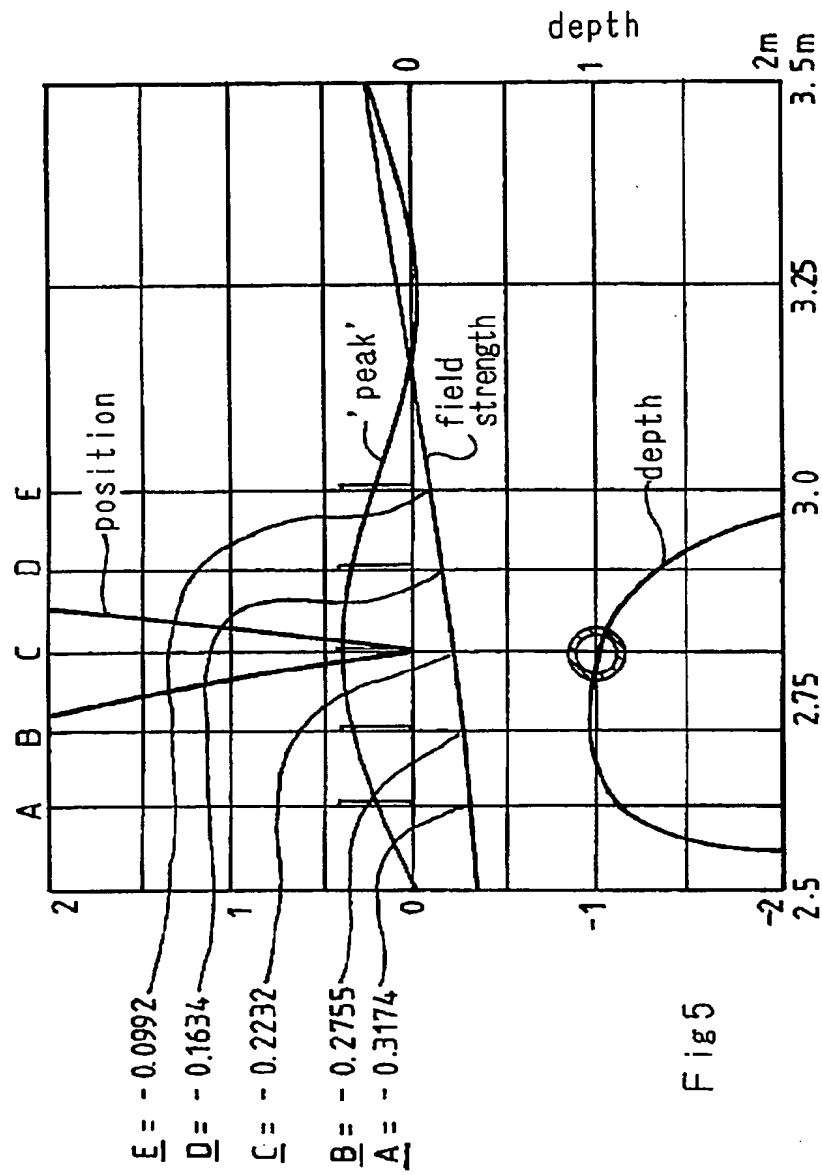


Fig 5

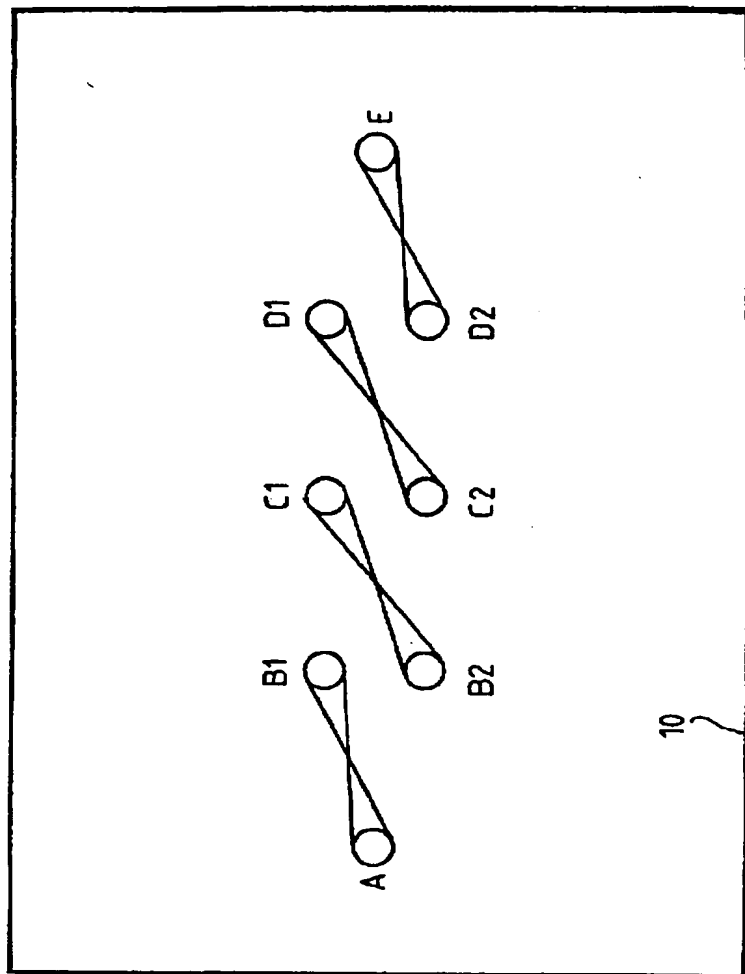


Fig 6

1. Abstract

[Problems to be solved] To realize a method and apparatus for use in the location of elongate conductors, particularly buried conductors

[Means for solving the problems]

Buried elongate conductors (e.g. pipes and cables) are located using an antenna assembly of ten vertical coils (A-J) arranged in two identical rows (A-E and F-J) arranged one above the other. Currents induced in the coils by alternating currents in buried conductors are fed to signal processing circuitry (12). This calculates parameters whose values can reliably indicate when a conductor is vertically beneath the antenna, and can indicate its depth.

2. Representative Drawing

Fig. 1